

応用研究論文

秋田スギの角材を利用した組立・解体が容易な木橋の開発

オンサイト生産システムを用いた低コスト木製土木施設の提案

佐々木貴信¹, 後藤文彦², 安部隆一³, 熊谷誠喜⁴¹ 秋田県立大学木材高度加工研究所² 秋田大学大学院工学資源研究科³ 日本機械工業株式会社⁴ 株式会社ウッディさんない

秋田県では、秋田スギの用途拡大を目的として森林土木分野における木材利用が積極的に進められており、これまでに木製治山ダムや木橋を始めとして多くの木製土木構造物が建設されている。しかしながら、建設材料として木材を用いた場合、コスト面での課題により一般的な工法として広く普及しているとは言い難い状況が続いている。そこで、木製土木構造物を対象に、材料加工から施工、維持管理に係るトータルコストが低く、且つ、これらの工程における CO₂ 排出量の大幅削減が可能な木製土木施設の普及を目的として、施工現場で材料調達から加工、施工までを一括して行う木製土木施設オンサイト生産システム（＝オンサイト生産システム）の構築に取り組み、現地製材システムの開発および現地製材した木材を用いたオンサイト生産型の木製土木施設の開発と試験施工を試みた。本研究では、現場製材装置の開発や、現場で製材した材料で効率的に施工できる治山ダムや、防護柵、木橋などの土木施設を開発したが、ここでは、組立や解体が容易な低コスト木橋の開発から実用化までの取り組みを紹介する。

キーワード：秋田スギ、木橋、木製ダム、産学官連携

全国一のスギ人工林面積を有する秋田県では、豊富な森林資源である秋田スギの用途拡大を目的として土木分野での木材利用が積極的に進められており、木製の治山ダムや橋梁、ガードレールなど多くの木製土木構造物が建設されている。これらの構造物のなかには県内の産学官が連携して研究開発したものも多い。しかしながら、土木分野での木材利用は、耐久性やコスト面などに課題が残されており、コンクリート構造物のように広く普及している技術とは言えず、未だ途上段階にある。

このような状況の下、著者らは、秋田大学や県内の企業と共同で平成 21 年より 3 年間、農林水産省の競争的研究資金「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」の補助を受け、林地で伐採した原木をその場で製材、加工し、林地に近い現場で土木

構造物の施工を行う一連のシステム（オンサイト生産システム）の構築を目指し、研究開発を行った。このシステムにより、伐採現場から製材工場までの原木の運搬や、工場から現場までの製材品の運搬工程を省くことができ、運搬コストの削減と同時に、CO₂ 排出量の削減が期待できる。この研究では、システムの要となる、移動式製材機を開発し、改良を重ね、実用可能な試作機を完成させた。また、製材した木材を最大限に使用できる、木製土木構造物の開発も同時に行い、実際に施工することでその実用可能性を探った。

ここでは、オンサイト生産システムに関する研究概要と、本研究で開発した現場製材装置とその性能、製材した部材を用いて施工する木製ダムや木橋（もつきょう）の概要とその実用化について紹介する。

木製土木施設オンサイト生産システム

秋田県では、県産スギ材の用途拡大を目的として、土木分野での木材利用を推進している。なかでも森林土木事業においては、治山事業や林道事業を中心に産学官連携による研究成果が活用され、新規用途開発や木材使用量の拡大が進められている。県内に多数の施工実績を持つ木製治山ダム（写真1）や木橋（写真2）も産学官連携の研究成果の一つである。しかしながら、建設材料として木材を用いた場合、コンクリート構造物などと比べ、コスト面での課題があり、木材利用を目的とした事業や、環境面や景観性での有意性を重視するような目的でなければ、木製構造物が選択されることは少なく、一般に普及しているとは言えない状況が続いていた。こうした背景から、著者らは、コストを抑えた木製土木構造物の普及を目的として、木製土木施設オンサイト生産システムの確立に取り組んだ（佐々木ら、2011）。



写真1 木製治山ダム（五城目町）。



写真2 国内最大級の木橋・坊中橋（藤里町）。

オンサイト生産システムの概念

土砂災害を未然に防止することを目的に林地内に設置される木製治山ダム（写真1）を建設する場合、使用する木材は図1に示すように、林内から伐採して搬出した原木を、製材工場に運んで製材した後、施工現場に資材として運搬されているが、図2に示すように、建設現場の周辺の林地で伐採した原木をその場で製材し、木製治山ダムの部材としての必要な加工ができれば、製材工場を経由する運搬工程を省くことができ、それらに係るコストやCO₂排出量の削減が期待できる。この一連の流れが、オンサイト生産システムの考え方であり、森林土木事業における治山工事や林道工事で建設される木製土木施設は、一般に、林地に近い箇所に設置されることが多いことから、着想に至った。



図1 通常の木製土木施設の施工。



図2 オンサイト生産システムのイメージ。

現場製材装置の開発

オンサイト生産システムの要となるのが生産性の高い現地製材技術の確立であるが、本研究では海外

で市販されている移動式製材機を応用し現地製材に特化した簡易製材装置を開発した。写真3に示すように長さ2mのユニットに分割された架台をトラックに積載して製材現場に運び、これらを製材する丸太の長さに応じた数のユニットを連結させ、この架台の上に取り付けた左右のレールの上に帯鋸式の移動式製材機（NORWOOD 社製 LumberLite 24）を載せ、これを人力で前方に移動させることで製材する仕組みである。この製材装置では、長さ2m～6m、直径約60cmまでの丸太の製材が可能である。移動式製材機はガソリンエンジンを動力源とした帯鋸式であり屋外での作業にも適している。架台の組み立て・解体はそれぞれ30分程度で可能である。写真4に示したのは、現場での製材を想定した屋外での試験製材の様子であり、後述する木橋に使用する部材を対象（断面120×120mm、長さ3.7m）に約100本の製材を行った。



写真3 簡易製材装置の積載状況。



写真4 現場製材試験（120×120mm）。

オンサイト生産システムの実証

平成23年度に秋田県鹿角地域振興局が発注した木製治山ダムに、オンサイト生産システムの導入を試みた。木製ダム（^{とこがため}床固工）の構造は、幅300mm、高さ250mm、長さ900mm～3600mmの秋田スギの製材を積み上げてダム本体（堤体）を構成する構造であり、中詰め^{とこがため}の採石等を用いず木材のみで構成する秋田県独自の工法として施工実績を増やしている（野田ら、2011）。木製ダムはこの堤体に加えて、堤体前面に設置する水叩工や、垂直工、側壁工からなり、大量の木材を使用する。

これら全体使用量の約1/3に相当する300本の秋田スギの原木（長さ4m、平均末口径32cm、総材積120m³）を対象に、開発した現場製材装置を用いて製材を試みた（写真5）。なお、移動製材機の設置箇所は建設現場ではなく、工事を請負った建設会社の関連会社の敷地内（建設現場より10kmに位置する）であり、250×300mm断面への製材し、所定の長さへ切断した後に、現場に運搬した。現場に搬入された部材は、写真6に示すように、ダム軸方向とダム幅方向に1段毎に直交する形で千鳥状に積上げられ、1段毎にラグスクリーや異形棒鋼で固定し一体化される。本体前面に、水叩工や側壁工が配置され完成した木製ダムを写真7に示す。



写真5 木製ダム部材（250×300mm）の製材。



写真6 木製ダムの組立.



写真7 完成した木製治山ダム（鹿角市）.

現場製材装置により製材したのは全体の 1/3 の 300 本であり、残りの 2/3 は製材品として購入している。このときの製材品の設計価格は 40,700 円/m³であった。オンサイト生産システムでは、現場製材を行うことで、材料費のコスト削減を期待しているが、本研究で試みた 300 本の製材について、歩掛かりを調査し、最終的な製材コストを算出した結果、原木価格に現場製材装置による製材および寸法切に要した人件費や運搬費等の諸経費を加えた最終製品の価格は 1m³当たり 27,220 円となった。これは、製材品として購入した場合の設計価格の 7 割程度であり、価格的にはオンサイト生産システムによる現地製材の実用性が示されたといえる。一方、生産能力は 3m³/日程度と低く、工期内に全量を製材するためには生産性の改善が課題とされた（佐々木、野田、千田、森川及び戸田、2012）。

組立・解体が容易な木橋の開発

現場製材した部材の用途の一つとして、写真 4 に示した 12cm 角材を用いた組立や解体が簡易な木橋を開発し（後藤、薄木、佐々木、安部及び川村、2010）、強度試験や試験施工を重ねてその実用性を検証した。

開発した木橋の概要

開発した木橋は図 3 に示すように、12cm のスギ正角材を幅方向に上下に並べて配置し、それらをトラス状に孔加工した鋼板（ $t=9\text{mm}$ ）を介して幅方向に貫通する高強度の綱棒（PC 綱棒）で横締めし一体化した高さ 500mm の箱断面の構造であり、橋の幅員に応じてこの箱断面をいくつか並べた床版橋となる。図 4 は、幅員 3m の農道に施工した時の断面図であり、3 連の箱断面となっているのが分かる。

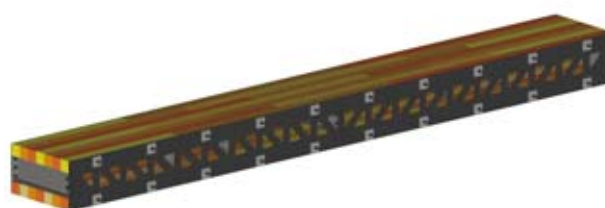


図3 角材と鋼板のハイブリッド木橋の構造.



図4 開発した木橋の断面図.

軽量で、高い曲げ剛性を有したこの木材と鋼材のハイブリッド木橋は、小径木間伐材や、建築用材としても流通している一般製材が利用できることから経済性にも優れ、箱桁内部の通気性が確保できる構造であるため、木部材の劣化を抑えることもできる。長さの異なる角材（最大 3m 程度）を千鳥状に並べて PC 鋼棒によって一体化させているだけの構造は、現地での組立が容易であり、部材交換のための解

体・再組み立て、あるいは解体・撤去も容易である特徴を有しており、災害時の応急橋や仮設橋としての用途など時限的な供用を目的とした橋梁などへの活用が期待される。

施工事例

平成 22 年度および平成 23 年度に本形式の木橋を秋田県三種町内の農道に試験的に施工を行った（写真 8、写真 9）。また、平成 24 年度には、岩手県大槌町の仮設住宅地の仮設橋としての施工を行った（写真 10、11）。平成 25 年度には、林野庁の森林整備加速化・林業再生事業「地域材利用開発」を活用し、新技術土木分野木材利用実証事業（秋田県）として秋田県三種町の農道に 22 年度、23 年度に続き 3 橋目となる橋長 7m、幅員 3m の木橋を施工した（写真 12）。このとき調査した建設費は、直接工事費で 142 千円/m² となり従来の木橋よりも安価であることが確認された。



写真 8 平成 22 年度架設（橋長 5.0m）。



写真 9 平成 23 年度架設（橋長 6.3m）。



写真 10 岩手県大槌町での仮設橋の組立作業。



写真 11 岩手県大槌町での仮設橋（橋長 6.3m）。



写真 12 秋田県三種町での実証試験（橋長 7m）。

同じく平成 25 年度には、秋田市仁別の太平山旭又登山道において、秋田県自然保護課の発注による橋長 10m、幅員 1m の歩道橋として採用され、短期間のうちに旧橋からの架け替え工事が完了した（写真 13）、また、現在、県内の別の登山道の歩道橋（橋長 12m）の架け替え工事への採用も検討されている。



写真 13 秋田市仁別の登山道への採用（橋長 10m）.

22 年度架設の 1 号橋（写真 8）は、工場で組まれた鋼トラス部材とスギ角材とを秋田県立大学木材高度加工研究所敷地内で組み立てた後、三種町の架設現場までトラックで運搬し、クレーンで一括架設した。組立作業の所要時間はおよそ半日であり、架設作業も半日程度と短期間で施工でき、橋体が軽量であるため組立後の運搬やクレーン架設も可能であることも確認できた。

23 年度架設の 2 号橋（写真 9）や 25 年度架設の 3 号橋（写真 12）は 1 号橋よりも橋長が長く、クレーン車の設置スペースもなかったため、現地で組立作業を行った。材料は橋台脇に置いたトラックから人力で運び、簡易足場を用いて橋台上に組立を進めた。

秋田県立大学木材高度加工研究所では、東日本大震災の被災地である岩手県大槌町と復興支援に関する連携協定を締結しており、復興支援の一環として仮設住宅住民の要望に応じて、生活道として著者らの産学連携チームが歩道橋を架設した。仮設住宅の使用が終了する段階で橋も撤去する必要があるため、解体が容易な木橋は最適であった。組立・架設作業も 1 日で終わり、災害時の応急技術としての可能性も示すことができた。この仮設住宅に住むのは大槌町安渡地区の方が多く、木橋は「安堵橋」と名付けられ日々の生活に役立てられている（写真 11）。

写真 14～写真 17 に本形式の木橋の一連の組み立て作業を示す。鋼トラスの間に上下 2 段にそれぞれ 3 種類の長さの角材を千鳥状に並べ、これらを幅員方向に貫通する複数の PC 鋼棒で緊張し、防水シートを介して路盤となる 5cm 厚の床板を敷設している。なお、PC 鋼棒は、油圧ジャッキを用いて 70kN の力で緊張している。



写真 14 角材の敷設作業.



写真 15 敷設作業完了と PC 鋼棒の挿入.



写真 16 油圧ジャッキによる PC 鋼棒の緊張作業.



写真 17 防水シートと床板の敷設.

性能試験

完成した木橋に対して、ホイールローダー（前軸荷重:12.6kN, 後軸荷重:17.0kN）による載荷試験を行った（ブイ, 後藤, 薄木, 佐々木及び安部, 2011）. ホイールローダーの載荷位置を変化させて、スパン中央部の幅員方向7箇所のだわみ分布を測定した結果、たわみ量は、最大でも 1mm 程度であった（図5）.



写真18 実大模型による載荷試験（形鋼タイプ）.



写真19 実大模型による載荷試験（鋼板タイプ）.

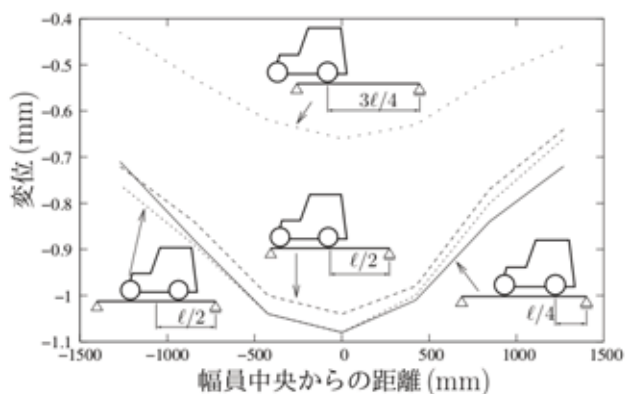


図5 支間中央のだわみ分布.

試験施工に至るまでには、実大模型の載荷試験を実験室で行い、性能を確認した（ブイ, 後藤, 薄木, 佐々木, 安部, 2011）. 実橋は図4のように箱桁が3つ並列した構造を有しているが、このうちの1つを取り出し、写真18のような載荷試験を行った. 本橋は140kNの自動車荷重で設計しているが、これらの試験結果から、十分な安全性を確認することができた.

写真18は1号橋（写真8）の形式の実大試験体であり、形鋼と鋼板をボルト連結した鋼トラスを使用しているが、写真19の2号橋（写真9）の形式では、三角形の孔開き鋼板を鋼トラスとして使用している. 鋼部材に三角孔を設けた鋼板を用いて部品数を減らしたことで、施工性が高められている.

平成25年度に秋田市仁別の太平山旭又登山道に架設された登山道のように、多雪地の歩道橋の設計では、歩行者の荷重（3.5 kN/m²）よりも、冬期間の積雪荷重を主として考えなければならない. 例えば、積雪3mを想定すると、10.5kN/m²もの大きな設計荷重となる. 写真20は、歩道橋（写真13）の架設工事の前に、工場で仮組立を行った際に、積雪を想定した重りを載せた試験を行っている様子であり、設計荷重の1/3の状態の結果を図6に示す.



写真20 雪荷重を想定した歩道橋の載荷試験.

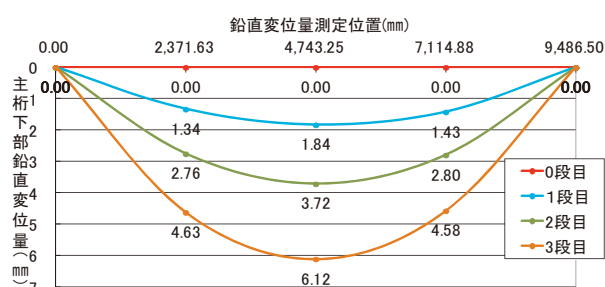


図6 雪荷重を想定した歩道橋の載荷試験.

おわりに

小断面の木材から高い剛性を発揮する新形式の橋梁は、施工が容易であると同時に、解体も容易であるという特徴を有している。この特徴を活かして、岩手県内の震災復興の仮設橋として利用できたように、時限的な供用期間を想定した橋梁への用途が期待される。

また、かつては永久構造物と呼ばれた、コンクリート構造物も、維持管理の必要性が生じており、今後、架け替えが必要な橋梁も多数存在している。ただし、これらの架け替えが必要な橋梁に対して、要求される性能は同一ではなく、限定的な供用期間や

設計荷重でも要求性能を満足する場合も考えられる。そうした時に、地域資源の木材を活用した低コストの木橋が活かされるよう研究を進めていきたい。

文献

ブイジュハイ, 後藤文彦, 薄木征三, 佐々木貴信, 安部隆一 (2011). 「プレストレス木床版と鋼トラスを用いたハイブリッド木橋」『木材利用研究論文報告集』10, 19-24.

後藤文彦, 薄木征三, 佐々木貴信, 安部隆一, 川村修 (2010). 「プレストレス木床版を用いた木橋」, 特開 2011-179286.

野田龍, 千田知弘, 佐々木貴信, 井上孝人, 原田利正, 三浦康浩, 水原崇之 (2011). 「秋田県における木製治山ダムの開発」『木材利用研究論文報告集』10, 102-107.

佐々木貴信, 後藤文彦, 千田知弘, 渡辺浩, 安部隆一, 熊谷誠喜 (2011). 「オンサイト生産システムを用いた木製土木施設の施工」『木材利用研究論文報告集』10, 56-61.

佐々木貴信, 野田龍, 千田知弘, 森川光彦, 戸田守 (2012). 「オンサイト生産システムによる木製治山ダムの施工」『木材利用研究論文報告集』11, 39-42.

〔平成 25 年 11 月 30 日受付
平成 25 年 12 月 11 日受理〕

Development of Easy Assembly and Disassembly Bridges Utilizing Square Timber

Proposal for Low Cost Wooden Civil Engineering Facilities using On-Site Production System

Takanobu Sasaki¹, Humihiko Gotou², Ryuichi Abe³, Seiki Kumagai⁴

¹ *Institute of Wood Technology, Akita Prefectural University*

² *Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering and Resource Science, Akita University*

³ *Nihon Kikai Industrial Company Limited*

⁴ *Woody Sannai Company Limited*

A new on-site production system is proposed for the effective use of wood to achieve low construction costs and low carbon dioxide emissions in wooden civil engineering facilities such as check dams, guardrails, and bridges. In on-site production systems, such facilities are generally constructed with local lumber and wood processed at the construction site. In this study, we propose a new type of timber bridge, which is a stress-laminated box-beam structure consisting of upper and lower stress-laminated decks connected by steel members. The deck and steel member parts are easily assembled and disassembled to enable the replacement of decayed parts of timber bridges in the field. We conducted loading tests on a small region of a timber bridge and confirmed that our new method demonstrates sufficient stiffness and strength.

Keywords: on-site production system, wooden check dam, timber bridge, sawn lumber